

# 中小型水轮机的合理选型<sup>\*</sup>

张富钦 史光辉

(东方电机厂, 德阳, 618000)

**提 要** 本文分析了我国过去中小型水轮机选型偏重于通用性和低价, 未充分考虑发电效益, 使用性能落后的转轮, 甚至不合理地套用某一机型, 致使水轮机长期偏离最优工况区运行, 给电站造成了较大的经济损失。近年来, 随着水轮机科研成果的增多, 新的中小型水轮机系列型谱的建立, 为中小型水轮机选型创造了条件。文章列举了东方电机厂在国内外中小型水轮机中的合理选型以及由此带来的经济效益。

**关键词** 中小型水轮机 选型 系列型谱

## 1 前 言

水电设备是一种使用期长、效率高的机械设备。使用寿命至少要求30年, 多则40年或更长。在这漫长岁月中能否安全可靠、高效率运行, 与水轮机的合理选型密切相关。大型水电站对选型十分重视, 要根据每个电站特定的条件, 进行严密的方案比较和论证, 甚至还要进行新转轮的试验研究。中小型水电站由于数量多、时间要求紧迫, 不可能像大型电站那样的方案论证, 但也不能简单从事。选型一旦不合理, 就会给电站运行造成经济损失。笔者从事水轮机新转轮研究和选型工作多年, 接触到不少选型不合理的电站, 有的已进行了更新改造, 有的改造难度很大, 仍然处于较差的工况运行。因此, 我们深感合理选型的重要性。从而建立了中小型水轮机系列型谱, 为合理选型创造了条件, 力求中小型电站获得良好的经济效益。

## 2 四川百座中小型电站水轮机选型

为了对过去中小型水轮机选型情况有一个清晰地了解, 我们对四川省1983年以前建

成的百座500kW以上中小型水轮机选型进行了剖析。这些电站的额定水头为4.9~253m; 转轮直径从0.5~3.3m; 额定功率从500~10000kW。其中轴流式水轮机电站52座、混流式水轮机电站58座, 共293台, 装机总容量为465960kW, 年平均利用小时为5288h。

分析表明, 选型合理和比较合理的电站, 轴流式48座, 混流式34座。其中屏山雪沱水电站采用了当时研究成功的A112新转轮, 2台3000kW水轮发电机组年发电量达到了 $4.72 \times 10^7 \text{kW} \cdot \text{h}$ , 使电站发挥了很好的经济效益。但仍有不少电站选型不合理, 其中轴流式占7.7%, 混流式占41.38%, 混流式和轴流式平均不合理数占统计总数的25.45%。原因有以下几种。

### 2.1 历史原因

由于我国水轮机转轮水力研究起步较晚, 科研落后于生产, 可供使用的转轮较少, 水头段的范围过大。如1974年制订的中小型水轮机型谱中20~180m水头范围内均可使用HL110转轮, 差不多包括了全部中小型混流式水轮机的使用水头。致使HL110转轮在中小型水轮机中大量使用, 占所分析混流式水轮机的20%。而HL110转轮使用于150m

\* 本文于1993年6月在国际中小型水电设备技术研讨会上作主题发言。

以下水头时,流量小、效率低,已明显落后。

## 2.2 电站规划和初设中的错误

相当一部分选型不合理的电站是在规划设计中缺乏足够的水文资料、水能设计方法简单,缺乏严谨的技术经济论证造成的。如玉溪河的横山庙水电站,设计时采用设计水头为 30.3m,引用流量  $25\text{m}^3/\text{s}$ 。选用 2 台 HL240-LJ-140 水轮机,单机容量为 3 200 kW,额定流量为  $12.5\text{m}^3/\text{s}$ 。实际运行时水头为 43m,电站的引用流量只有  $16\text{m}^3/\text{s}$ ,使水轮机长期在  $7\text{m}^3/\text{s}$  的流量下运行,效率只有 66%~74%。我们对该电站进行了实测,实测流量为  $7.5\text{m}^3/\text{s}$ ,水头 43m,机组功率仅 2 115.8kW,水轮机效率只有 71%。由于机组长期偏离设计工况运行,机组振动、噪音都很大。1990 年经我厂改造后,在同样的水头和流量下,机组功率增加 363.8kW,水轮机效率最大增加 18%。原机组从 1978 年运行至 1989 年,每年按 5 000h 计算,10 年内少发电  $3.638 \times 10^7 \text{kW} \cdot \text{h}$ ,经济损失达 300 多万元。

## 2.3 套用情况

在中小型水轮机选型中,不合理套用水轮机机型的现象时有发生。如小水河某电站,最大水头 137m,最小水头 134m,引用流量  $4\text{m}^3/\text{s}$ ,理应选用 2 台 HL110-WJ-71 型水轮机,转速为 1 000r/min,机组额定功率可达 2 200kW。然而电站安装 2 台 HL110-WJ-60 水轮机,无疑是一种套用,结果单机最大流量仅  $1.5\text{m}^3/\text{s}$ ,设计者为使功率达到 1 600kW,将额定水头提高到 145m,比电站最大水头还高 8m。这一套用,使水轮机运行工况远离最优工况区,单位转速只有 50r/min,效率降低 5%,加上水轮机功率受阻,使电站每年少发电  $9.36 \times 10^6 \text{kW} \cdot \text{h}$ ,损失达 60 多万元。

## 2.4 制造厂的责任

制造厂对中小型水轮机选型工作不严谨是由于以下因素造成的。

1. 在计划经济体制下,工厂追求产值、产量、对用户效益考虑较少;

2. 部分中小型水轮机厂技术力量薄弱,品种少;

3. 认为中小型水轮机只要能可靠运行,发足额定功率就行,忽视了中小型水轮机选型的重要性。

## 3 制定新型谱为合理选型创造了条件

近年来,我国水轮机转轮科研工作突飞猛进,新转轮的研究也取得了很大进展。东方电机厂和哈尔滨大电机研究所先后研制出了一批性能先进的转轮,其性能大都达到了国内先进水平;并且已在国内外电站中使用,取得了显著的经济效益。

随着我国社会主义市场经济体制的建立,用户对产品的性能、特别是对经济效益的要求越来越高,在中小型水轮机选型中,明显感到 1974 年制订的型谱已无法满足用户的需用。为此,东方电机厂积极参与了中小型水轮机新型谱的编制工作,并提供了一批我们自己研究成功性能良好的转轮。现在新型谱已经制订,为水轮机的合理选型创造了条件。新型谱所列转轮与 1974 年型谱的转轮相比,无论是在比转速( $n_s$ ),还是效率( $\eta$ )都有大幅度的提高,空化系数( $\sigma$ )也有所下降。表 1 为新旧型谱中混流式转轮的比较。

从表 1 看,旧型谱转轮较少,而且转轮覆盖的水头范围也太宽,尤其是当转轮在降低水头使用时,其性能指标就更低。新型谱的转轮比较多,水头段的衔接也比较合理。除个别水头段没有用新转轮更换,其它各个水头段的转轮性能都有很大进步。在相同水头下,比转速提高了 10%~30%、效率提高了 1%~2%,在相同比转速下,空化系数降低了 20%~40%。

在新型谱中,轴流式转轮也增加了 ZZ560<sub>A</sub>、ZZ500 和 ZZD32<sub>B</sub>,使转轮的可选范围进一步扩大。

表 1 新旧型谱中混流式转轮的比较

	推荐水头 (m)	转轮型号	最优单位转速 (r/min)	最高效率 (%)	限制流量 (m <sup>3</sup> /s)	空化系数	比转速 (m·kW)	说明
旧 型 谱	10~35	HL260	73	89.5	1.32	0.28	260	
	30~70	HL220	70	90.5	1.14	0.133	220	
	45~120	HL160	67	90.5	0.67	0.065	160	
	20~180	HL110	61.5	90.4	0.36	0.055	110	
	125~240	HL100	61.5	90.6	0.27	0.035	100	
新 型 谱	20~45	HL240	72	91.5	1.24	0.20	240	暂用
	35~60	HL260(A244)	80	91.7	1.275	0.15	263	
	50~80	HL260(D74)	79	92.7	1.247	0.143	261	
	70~105	HL240(D41)	77	92.0	1.123	0.106	239	
	90~125	HL220(A153)	71	91.5	1.08	0.08	218	
	110~150	HL180(D06A)	69	91.5	0.830	0.053	185	
	110~150	HL180(A194)	70	92.6	0.745	0.078	180	
	135~200	HL160(D46)	67.5	91.6	0.639	0.045	160	
	180~250	HL120/HL110	62.5/61.5	90.4/90.4	0.38/0.38	0.063/0.055	113/110	暂用
	230~320	HL90(D54)	62	91.7	0.266	0.033	94	暂用
300~400	HL90(D54)	62	91.7	0.266	0.033	94		

#### 4 东方电机厂中小型水轮机选型实践

东方电机厂是以生产大型发电设备为主的企业、国内目前运行中单机容量最大的龙羊峡机组和水轮机转轮直径最大的葛洲坝机组，设计中单机容量最大的李家峡机组，都由东方电机厂自行设计制造。这些电站的水轮机选型都是经过反复研究和论证。对中小型水轮机的选型，我们同样力求合理，精益求精，从而为电站带来了巨大的经济效益，也为我厂赢得了信誉和效益。现举例如下：

##### 4.1 新疆山口水电站

电站位于新疆阿勒泰地区哈巴河县，最高水头 33.6m、额定水头 30m、最小水头 28.7m，极限最低水头 17m，装机 4×6500kW。

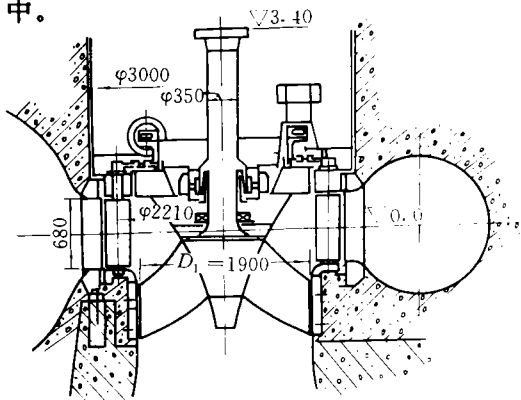
针对该电站的使用水头，水轮机可采用轴流式和混流式。若采用轴流式，可选用 ZD440-LJ-200， $n_r = 300\text{r/min}$ ， $\varphi = +12^\circ$ ，水轮机额定功率 6600kW，额定点效率为 86.2%，吸出高度  $H_s = -5.5\text{m}$ 。选用轴流式

水轮机有两个明显缺点。

1. 挖深太大，土建费用增加，水轮机运行维护不方便。
2. 水轮机效率偏低。

若采用混流式水轮机，可选用 HL240-LJ-190， $n_r = 214.3\text{r/min}$ ，额定点效率为 88.8%， $H_s = 0$ ，该方案比轴流式有明显的优势。但该机型比转速偏低，设计比转速  $n_s = 248\text{m}\cdot\text{kW}$ ，比速系数  $K = 1358$ 。据统计分析，当额定水头为 30m 时，比较理想的  $n_s$  应达 310~365 $\text{m}\cdot\text{kW}$ ，比速系数宜在 1700~2000 之间。根据这一目标，我们又进行了无下环混流式水轮机的比较（见附图）。无下环转轮是我厂自行研制成功的一种介于轴流式和混流式水轮机之间的新转轮。它吸取了轴流式水轮机高比转速和混流式水轮机高效率、低空化系数和结构简单的优点。首台无下环混流式水轮机已在云南双化水电站运行了 2 年多。实践证明，该机组运行稳定，各项性能指标均已达到设计要求。根据比转速的要求，山口水电站水轮机最终选用了 HLD92-LJ-190 机型。在额定水头 30m 时，额定功率为 6600kW，额定转速 300r/min，额定点效率

为 91%、吸出高度  $H_s = 0$ ，比转速  $n_s = 347 \text{ m} \cdot \text{kW}$ ，比速系数  $K = 1901$ ，达到了预期目标。该机型与轴流式相比，效率提高了 4.8%，土建少挖深 5.5m；与混流式相比，额定效率提高了 2.2%，比转速提高了 40%，使发电机重量降低近 20%。目前该机组正在制造中。



附图 无下环混流式水轮机  
(高程单位:m 其他以 mm 计)

#### 4.2 出口机组

美国依沙贝拉(Isabella)水电站最高水头 45.75m，额定水头 36.58m，最小水头 35.56m，装机 2 台、水轮机额定功率 6465 kW。根据原水轮机型谱，本电站只能选择 HL220 转轮，机型为 HL220-LJ-175，额定转速为 257.1r/min，(频率为 60Hz) 额定效率为 91.5%，水轮机最高效率也只有 91.8%，比转速为 230  $\text{m} \cdot \text{kW}$ 。在竞争激烈的国际市场，采用该转轮显然是难以打入美国市场的。我们针对依沙贝拉水电站的具体情况，经过方案分析比较，选用了我厂研制的 D75 转轮(同型谱上 D74 转轮性能基本一致)。其机型为 HLD75-LJ-165，额定转速为 300r/min，设计点效率为 92.9%，最高保证效率为 93.9%，比转速为 268.1  $\text{m} \cdot \text{kW}$ ，比 HL220 转轮比转速提高 16.5%，最高保证效率提高 2.1%，达到了国际先进水平。在国内外水轮机同行的激烈竞争中一举夺标。电站投运后，经真机实测，各项性能指标均达到设计要求，受到美方好评。

#### 4.3 小高桥水电站

小高桥水电站位于四川德昌安宁河上，电站最高水头 30.95m，额定水头 29.5m，最小水头 29.3m，引用流量 68  $\text{m}^3/\text{s}$ ，装机容量 4 × 4000kW。由于电站水头变幅很小，并且单机容量较小，为了便于农村小电站的运行管理、维护方便以及降低设备造价，水轮机仅限于轴流定桨和混流式两种机型进行选择。根据电站使用水头，可供选择的转轮有 ZD440、ZD500 和 HL240 三个转轮四个方案。四个比较方案示于表 2。

表 2

方 案	一	二	三	四
转轮型号	ZD440	ZD500	HL240	HL240
额定水头(m)	29.5	29.5	29.5	29.5
额定功率(kW)	4170	4170	4170	4170
转轮直径(m)	1.56	1.54	1.54	1.56
桨叶角度(°)	+10	+8		
额定转速(r/min)	428.6	428.6	250	250
单位转速(r/min)	123	121.5	70.9	71.8
单位流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )	1.2676	1.2598	1.2429	1.1849
模型效率(%)	84.5	87.5	89	91
效率修正(%)	1.5	1.3	1.0	1.0
真机效率(%)	86	88.8	90	92
模型空化系数	~0.47	0.41	0.203	0.20
吸出高度(m)	-6.0	-5.5	0	0

根据方案比较，方案一、二效率较低，且土建开挖太深，方案三较为理想，我厂已经生产过，小高桥水电站若采用这一机型，不仅能满足电站设计要求，而且有利于我厂降低成本，并可赢得充裕的交货时间。但经过进一步分析认为，若将转轮直径放大 20mm，即转轮直径为 1.56m(方案四)，则水轮机效率又可提高 2.0%。并且空化性能也将进一步改善，考虑到电站的利益，最后选定 HL240-LJ-156 的最优方案，额定效率为 92%，吸出高度  $H_s = 0$ ，使电站获得了效益、节省了投资。

#### 5 结 语

水电设备效益的好坏同水轮机选型密切相关，通过本文可以得出以下结论。

(下转第 96 页)



水资源专家,国际水资源协会韩国委员长李舜铨教授应邀进行了流域水资源系统洪流管理模型学术报告会,使参加这次报告会的70多位同志受到一定的启发。

12月11日至12日 在庆祝二滩水电站截流成功的喜庆日子里,四川省政府在攀枝花市主持召开了“四川水电开发研讨会”。电力部、水利部、国家能源投资公司、水规总院、中国建设银行、农业银行总行、中国水电学会、成勘院、西南电力设计院、省电力局等单位的领导和专家参加了会议。我会王尊相理事长、李子铮副理事长、王梁常务理事等参加了会议并就抓紧瀑布沟水电站立项建设,加快四川水电建设步伐等问题进行了发言。

12月16日至17日 我会在成都电力

职工大学召开了1993年四川水电中青年学术报告会暨学会工作表彰会议。会上,13位优秀论文和入选论文作者进行了大会学术交流,并对荣获优秀论文和入选论文作者进行了颁奖,同时还对我会9个先进集体和49名学会工作积极分子进行了表彰和奖励。

12月19日 施工专委会在成都召开了工作会议,会议总结了1993年专委会的工作,对1994年专委会的活动进行了安排。

12月20日 地勘专委会在成都召开了工作会议。会议传达了省学会召开的1993四川水电中青年学术报告会暨学会工作表彰会议精神,总结了专委会1993年的主要工作,讨论了1994年专委会活动安排。

(学会秘书处)

(上接第71页)

1. 四川百座中小型水电站水轮机选型有不少由于选型不当,给电站造成了经济损失。少数电站进行了更新改造,还有一部分由于改造十分困难,仍在蒙受损失。

2. 由于发电设备利用率高,使用寿命长,应充分考虑电站的发电效益及社会效益,中小型水轮机的选型也需进行多方案比较论

证,旧的转轮今后应逐步淘汰,不宜简单套用,应按各电站的特定条件,满足电站的设计要求。

3. 新制定的中小型水轮机系列型谱为合理选型奠定了基础,各项性能指标都有较大的提高,使用性能先进的转轮,以促进水轮机技术的进步。

(收稿日期:19930802,退修回日期19930918)

## Reasonable Selection of Type for Middle and Small sized Turbine

Zhang Fuqing    Si Guanghui  
(Orient Electric Factory)

**Abstract** In the past, type selection of middle and small sized turbines in china always laid particular stress on universality and low price, but not sufficiently considered the power generation benefit. Runners with backward performance were used, even a certain type of turbine was applied indiscriminately. Therefore, turbines operated beyond the optimum operating condition in longterm, causing considerable economic loss to power station. In recent years, because of the increase of scientific research results and the establishment of middle and small sized turbines of new series, type of middle and small sized turbines can be reasonably selected. Reasonable selection of type of middle and small sized turbines in china and abroad by orient Electric Factory and the resulting economic benefit are described in the paper.

**Key Words** middle and small sized turbine, type selection, series of turbines.